



TITLE:

He<sup>3</sup>-He<sup>4</sup>混合系のNMR(「ヘリウムの物性-光散乱を中心に-」,物性研究所短期研究会報告)

AUTHOR(S):

平井, 章; 水崎, 隆雄; 福田, 耕治; 平良, 豊; 前川, 覚

---

CITATION:

平井, 章 ...[et al]. He<sup>3</sup>-He<sup>4</sup>混合系のNMR(「ヘリウムの物性-光散乱を中心に-」,物性研究所短期研究会報告). 物性研究 1974, 21(4): G51-G55

ISSUE DATE:

1974-01-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/88705>

RIGHT:

する予定である。

完全結晶（転位、点欠陥を含まないもの）中の減衰の測定からは、次のような情報が得られる。減衰 $\alpha$ の温度 $T$ 、周波数 $\omega$ についての依存性から、例えば3フォノン過程が優越するならば、 $\alpha \propto \omega T^4$  となるなど、生じているフォノン間相互作用の種類と大きさについて知ることが出来る。これは、通常の結晶ないし液体ヘリウムの場合と同様である。

転位を含む結晶については、ごく基本的な事柄から始める必要がある。例えば、転位が一定のすべり面、すべり方向を有するかどうかについての判定は、減衰の結晶方位依存性から知られる筈である。更に転位と熱フォノンの相互作用についての情報は、減衰の周波数依存性から得られる。転位が結晶中を運動するとき、その速度に比例する抵抗力が働くと考えるが、上記の相互作用がその大きさを決定する。超音波減衰の測定結果の解析からこの抵抗力が求まり、それについての理論との比較が可能となる。他の種類の実験として、転位と点欠陥との相互作用に関するものが考えられる。点欠陥として導入可能なものとしては、空格子点、 $\text{He}^3$ 原子などがあるが、これらが転位と共存するときの超音波減衰の測定から、多くの興味ある結果が得られると思われる。

## $\text{He}^3 - \text{He}^4$ 混合系の NMR

京大・理 平井 章，水崎隆雄，福田耕治，  
平良 豊，前川 覚

我々の研究グループにおけるこの一年間の研究の進展状況について報告する。

### (1) $\text{He}^3 - \text{He}^4$ 混合液の NMR

#### 1-a) スピン拡散係数の測定

我々は NMR 法による一連のヘリウムに関する研究の手始めに稀薄  $\text{He}^3 - \text{He}^4$  混合液中の  $\text{He}^3$  のスピン拡散係数 ( $D_s$ ) の測定をとりあげた。 $D_s$  は Carr-Purcell の方法を

用いて極めて正確に測定できる。

2.5%  $\text{He}^3$  溶液における  $D_s$  の温度変化のデータを Fig. 1 に示す。特に  $T_\lambda$  附近において  $D_s$  を注意深く測定したが、現在迄の所何ら異常を認めることができなかった。

$D_s$  はロトンと  $\text{He}^3$  との衝突によって決まっていると考えて、 $D_s$  の温度変化の様子を Khalatnikov に従って解析してみる。即ち

$D_s \propto \exp(\Delta/kT)$  である。 $\Delta$  を定数として解析すれば、この温度範囲の測定からは  $\Delta/k \sim 13\text{K}$  となる。これは他に  $D_s$  等の測定より報告されている値と Consistent であるが、ロトンミニマムのエネルギーとしては不適當である。そこで我々は試みに  $\Delta$  自身に温度変化を許して解析してみた。即ち、

1.65 K において  $\Delta/k = 8.3\text{K}$  と仮定して、それより高温側の  $D_s$  の測定値より  $\Delta/k$  の温度変化の

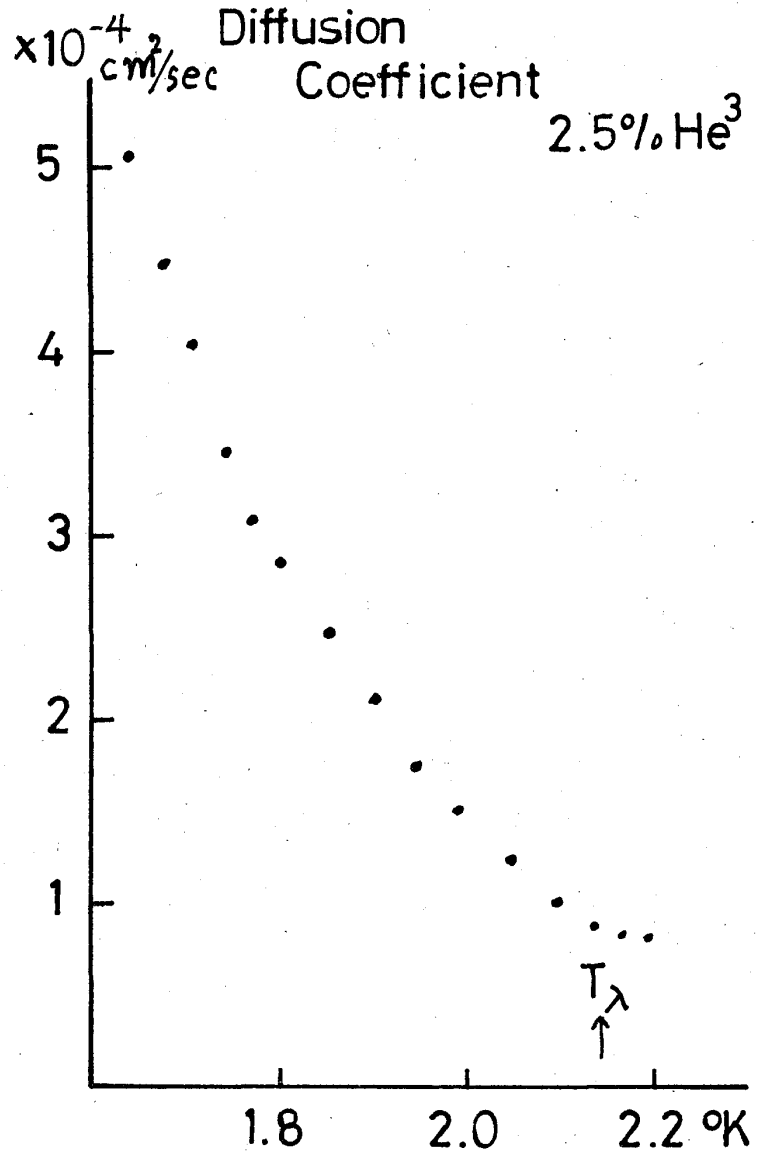


Fig. 1

様子を求めたものが Fig. 2 である。これを pure な  $\text{He II}$  に対して Henshaw-Woods が N.D. の方法により求めたデータと比較してある。Fig. 2 よりみて、今のような解釈の方が  $\Delta/k \sim 13\text{K}$  より合理的と思われる。最近、Raman 散乱の実験より  $\Delta$  が  $\text{He}^3$  の濃度によってあまり変化しないという結果が得られているが、混合液における  $\Delta$  の温度変化の様子も pure の  $\text{He II}$  の場合とあまり変わらないと考えてもよからう。

#### 1-b) $T_\lambda$ 附近での NMR 信号の異常

既にいくつか報告があるが、NMR 信号は  $T_\lambda$  附近において種々の異常を示す。NMR

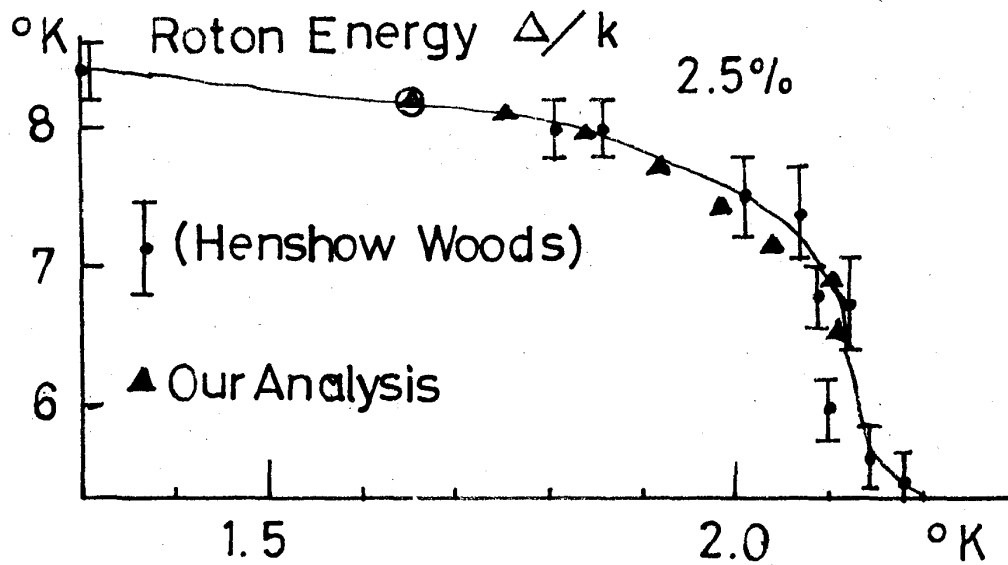


Fig. 2

の信号強度 (パルス後の Free Induction Decay の大きさ) の変化の様子を Fig. 3 に示す。これは一応、He<sup>3</sup> のスピン格子緩和時間  $T_1$  の変化によるものと考えられるが、一方既に述べたごとく  $T_{\lambda}$  附近では Ds には全く異常が認められない。従って我々は、本質的な  $T_1$  には全く異常がなく、Fig. 3 のごとき信号強度の変化は、対流にともなったある種の Heat Flush 効果にもとづくものではないかと推察している。この点を明らかにするために、SQUID を用いた NMR 分光計を作り、それで核磁化  $M_z$  の Recovery の様子を直接測定すべく準備中である。尚、最近 Dm (He<sup>3</sup> の Mass Diffusion) には  $T_{\lambda}$  附近に異常のあることが報告され、又 Ds と Dm の違いについて二、三議論があるが、今の所、事態は明

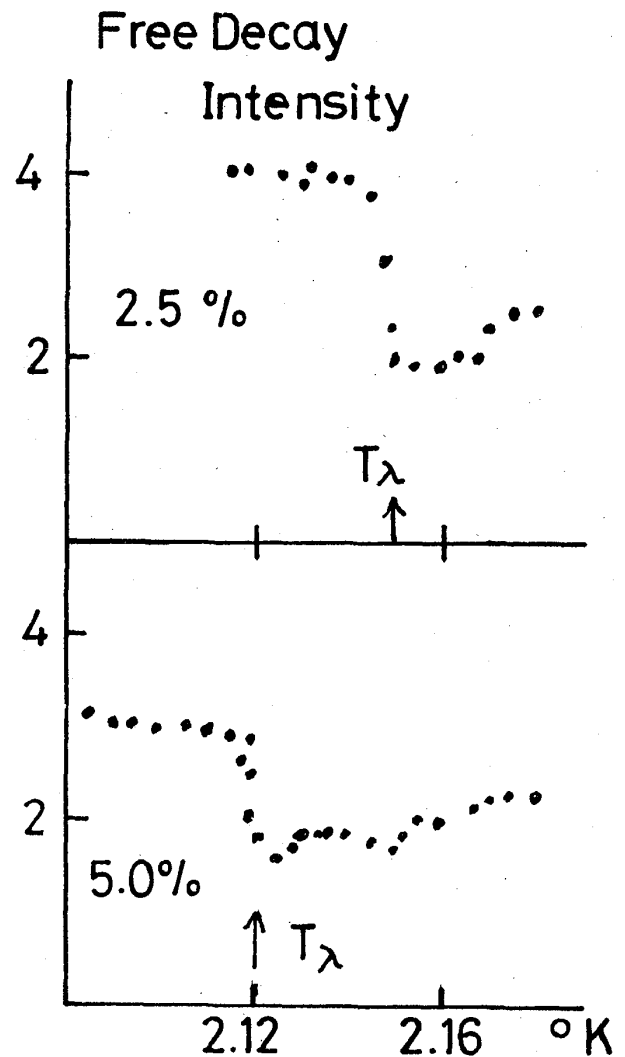


Fig. 3

白でない。

## (2) $\text{He}^3 - \text{He}^4$ 混合固体の実験

### 2-a) 極低温発振器と圧力計

固体ヘリウムの状態をきっちりと押えてから実験するためには、温度測定と共に圧力測定も極めて重要であるので圧力計の製作を始めた。これは又以前より予備実験をおこなっていた Cryoelectronics 技術の応用という意味からも興味がある。MOSFET を用いた発振回路をクライオスタット内に組み込み、圧力変化を発振回路のコンデンサーの容量変化に、そして発振周波数の変化に変換する圧力計を試作した。満足に動作しており、 $\text{He}^3 - \text{He}^4$  混合系の融解曲線や  $\text{He}^3 - \text{He}^4$  混合固体の状態図を調べるのに用いている。

### 2-b) $\text{He}^3 - \text{He}^4$ 混合固体における $T_{1\rho}$ の測定

固体ヘリウムの NMR の実験の手始めに、回転系におけるスピン格子緩和時間( $T_{1\rho}$ )の測定をとりあげた。測定方法は、Fig.4 に示すごとく、 $90^\circ$ パルス後に  $90^\circ$  phase shift した長い r.f. パルスを加え、これを切った直後にあらわれる Free Induction Decay 信号の信号強度を r.f. パルスの長さの関数として求めると、その減

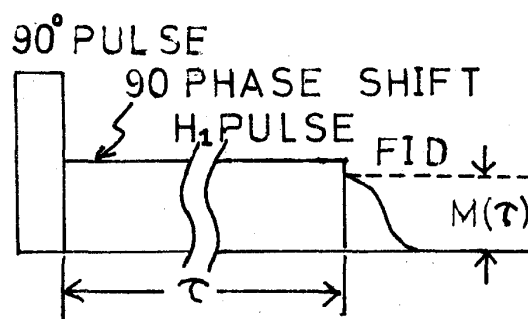


Fig. 4

衰の時定数が  $T_{1\rho}$  である。 $T_{1\rho}$  は実効的に非常に低い磁場中での  $T_1$  に対応しており、このことより超低速運動を調べるのに適している。我々の差し当りの目標としては、固体ヘリウムを試料としてこの方法により固体のプレメルティングを調べること、交換相互作用を有する系における  $T_{1\rho}$  の問題、 $\text{He}^3$  間の交換相互作用に二体の Heisenberg 型からのずれがあればそれが  $T_{1\rho}$  に反映しないか、等があげられる。Pure な  $\text{He}^3$  の固体を対象にしたいがまず 5%  $\text{He}^3 - \text{He}^4$  混合固体について 10 MHz で実験をおこなった。

$T_1$  及び  $T_{1\rho}$  の測定結果を Fig. 5 に示す。この温度範囲は Vacancy Diffusion Region に対応しており、 $T_{1\rho}$  の温度変化より Vacancy の Formation Energy 16 K が得られるがこの値は  $T_1$  の測定より得られたものと consistent である。

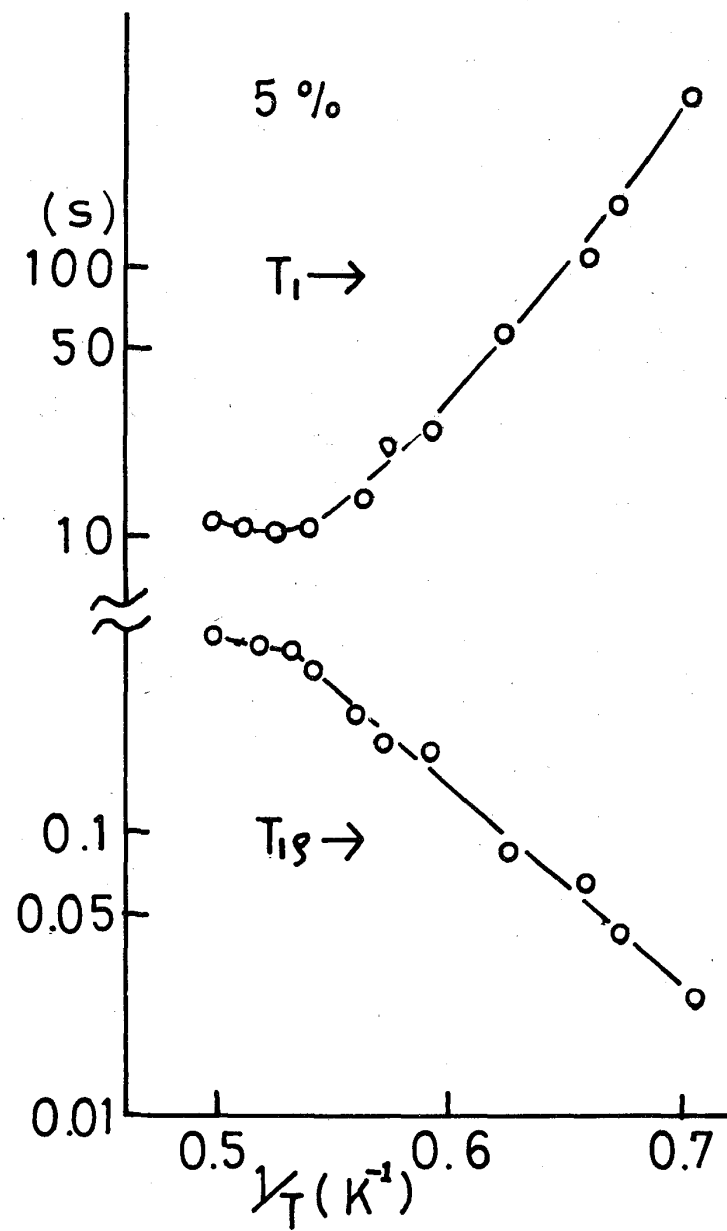


Fig. 5